

胶印机墨斗油墨流量与墨键开度、油墨黏度关系的研究

付衍文, 高 军, 张 瑾

(山东理工大学, 淄博 255049)

摘要: 在考虑油墨黏度对油墨流量影响的基础上, 根据流体力学基本理论, 对胶印机墨斗油墨流场进行了仿真分析, 建立了胶印机油墨黏度、墨键开度与油墨流量的非线性映射关系。实验结果表明, 建立的模型符合客观分析, 具有较高的精度, 为墨量的精确控制提供了理论依据。

关键词: 墨斗; 墨量控制; 流场仿真; 数据拟合

中图分类号: TS803.6; TS805 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)23-0097-04

Study on Relationship among Key Opening, Ink Viscosity, and Ink Flow of Offset Printing Machine's Ink Fountain

FU Yan-wen, GAO Jun, ZHANG Jin

(Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: Flow field of offset printing ink fountain was simulated and analyzed according to the basic theory of hydrodynamic flow field and considering the influence of ink's viscosity on ink flow. Non-linear mapping of ink's viscosity, keys opening and ink flow was established for offset printing machine. Experimental results showed that the model established is in line with objective analysis and has higher accuracy. The purpose was to provide a theoretical basis for precise control of ink.

Key words: ink fountain; ink control; flow field simulation; data fitting

随着经济水平的不断提高, 人们对印刷品质量的要求也不断提升。印刷品在线质量检测与控制系统应运而生, 满足了人们对印刷品精益求精的要求。印刷品墨量控制的自动化、实时化、精确化是印刷品在线质量检测与控制的重要环节。传统的墨量控制方式已经不能满足印品在线检测与控制的要求和印刷企业的需求。油墨的流量直接决定了最终印品的质量, 墨量与墨键的开度有直接关系。目前, 人们在墨量的调节中大都将墨量与墨键开度的线性关系作为依据, 而忽略了油墨的黏度、温度等特性对油墨流量的影响。为更加精确的进行墨量调节与控制, 笔者结合流体力学基本原理, 通过 CFD 软件模拟了墨斗油墨流场, 在考虑油墨黏度的基础上, 最终建立了油墨流量与墨键开度、油墨黏度的非线性关系, 也为自动化、实时化、精确化的墨量控制打下坚实的基础。

1 墨量控制系统总体方案

印刷品在线质量检测与控制系统的墨量控制, 是通过调节墨斗末端的伺服电机来实现的。胶印机墨量调节系统方案见图 1, 图像采集模块的实时采集印

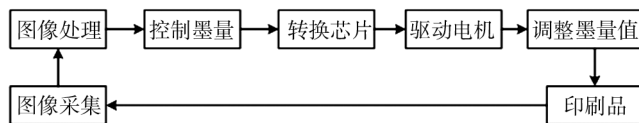


图 1 墨量控制系统

Fig. 1 Ink control system diagram

刷品, 首先经图像处理模块获得所需调整墨量, 再经转换芯片将控制墨量转换成相应控制参数, 最后经驱

收稿日期: 2012-09-06

基金项目: 山东省高校科技计划项目(J10LD09)

作者简介: 付衍文(1986-), 男, 济南人, 山东理工大学硕士生, 主攻印刷机测控系统等。

通讯作者: 高军(1971-), 男, 山东淄博人, 山东理工大学副教授, 主要研究方向为机械制造、CAD/CAM 及印刷测控系统等。

动器驱动调节电机完成墨量调整^[1-2]。

2 墨斗工作原理

墨斗是胶印机印刷过程中控制油墨流量的核心机构。墨斗由墨键、墨斗辊调节装置、伺服电机等组成,每一块墨键都有一个单独的电机通过传动机构驱动,工作时每块墨键可以沿墨斗基体表面独立上下运动,改变墨斗辊与墨键之间的开度,完成印刷过程中对不同墨区的不同油墨流量的控制要求^[3]。由于油墨的黏度特性,工作过程中,墨斗辊平稳转动,油墨会随着墨斗辊一起运动。在不同的墨键开度,不同的油墨黏度下,黏附在墨斗辊表面上的墨层厚度(油墨流量)将与墨键开度成一定的函数关系而变化。墨斗结构见图2。

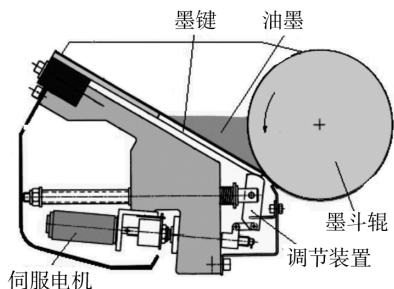


图2 墨斗结构^[6]

Fig. 2 Structure of ink fountain

3 油墨流场仿真

结合流体力学的基本原理,借助流体力学流场分析软件 FLUENT,建立了墨斗油墨流场。通过对流场的仿真分析得到不同油墨黏度、墨键开度下的油墨速度场,对各工况下离散点处速度拟合得到其速度曲线,并对速度曲线进行积分获得该工况下的油墨流量值,最后借助 MATLAB 软件对各种工况下的油墨流量进行数据处理,得到油墨黏度、墨键开度与油墨流量的关系。墨斗油墨流场仿真方案见图3。

3.1 油墨流场模型建立与网格划分

为保证印刷过程中油墨流量的稳定,一般将墨斗辊的转速控制在递纸速度的 0.4 ~ 0.5。研究的该型号胶印机工作时递纸速度为 11 000 张/h,因此墨斗辊的转速为 7.66 ~ 9.56 rad/s,将墨斗辊转速选为 10 rad/s,而墨斗辊上墨层厚度较薄,因此流场定义为低

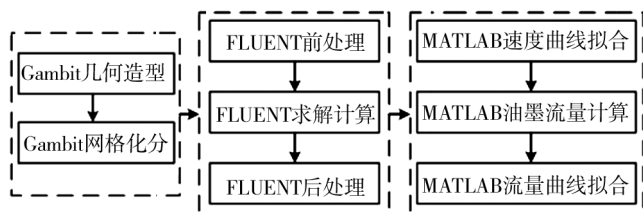


图3 墨斗油墨流场仿真方案

Fig. 3 Ink fountain flow field simulation scheme

速运动流场,根据油墨的特性及流体力学相关理论,将油墨的流动定义为低速不可压粘性流动^[3-6]。运用压力耦合方程的半隐式算法进行计算仿真,其中控制方程如下。

连续方程:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

x 方向动量方程:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + F_x \quad (2)$$

y 方向动量方程:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + F_y \quad (3)$$

式中: ρ 是流体的密度; u 和 v 是速度矢量 U 在 x 和 y 方向上的分量; p 是微元体上的压力; τ_{xx} 和 τ_{xy} 是因分子粘性而产生的作用在微元体表面上的粘性应力 τ 的分量; F_x 和 F_y 是微元体上的体力。

严格地讲,胶印机墨斗油墨流场的模型是一个复杂的三维二相流问题,在空气和油墨之间存在明显的界面,增加了问题分析的难度。为简化计算和减小分析问题的难度,对该问题做如下假设:不考虑液面高度对流量的影响,假设墨斗中油墨高度始终处于某一高度值;假设为绝热状态,不考虑相间热量交换;模拟计算过程不考虑油墨的蒸发。

由图2所示墨斗结构可以看到,油墨在沿与墨斗辊轴向垂直的每个墨键上的面,其运动规律是相同的,依据 PZ4890-01B 型胶印机参数,建立墨斗油墨流场二维模型。选择墨键上与墨斗辊轴向垂直的任意平面作为计算区域平面,该平面有 4 条边组成,即油墨入口 $\overline{AB}$ 、油墨出口 $\overline{CD}$ 、墨斗辊旋转面 $\overline{AC}$ 和墨键表面 $\overline{BD}$ 。根据研究和计算方便的需要,坐标原点选择墨斗辊与出墨口的交点,油墨出口平面在墨斗辊轴线方向上的投影线设为 x 轴,墨斗辊旋转面 $\overline{AC}$ 的圆心坐标

为 $(-40\text{ mm},0)$,所对应的圆心角为 30° ,油墨出口平面 $\overline{CD}$ 与入口平面 $\overline{AB}$ 之间的距离设为 20 mm ,借用 FUL-
LENT 的前处理器软件 Gambit 建造二维模型并划分
网格。网格划分中,为提高运算速度和计算精度,在
靠近墨斗辊的油墨重点分析区域采用高密度网格划
分,在靠近墨键的区域则适当放大网格尺寸,数学模
型示例见图 4。

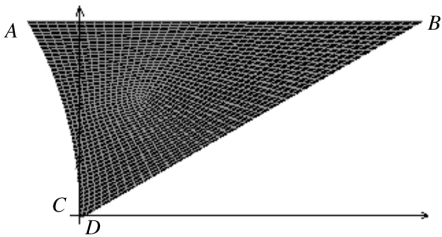


图 4 墨斗二维数学模型
Fig. 4 2D mathematical model of ink fountain

3.2 流场仿真模拟实验

选择墨斗中单个墨键上的定量油墨为研究对象,
通过建立不同油墨黏度,不同墨键开度下的二维墨斗
油墨流场模型,借助 FULENT 软件仿真获得各种工况
下的油墨速度场从而得到各离散点的速度,并对其拟
合获得速度曲线再对曲线积分最终得到油墨流量值。

胶印机工作过程中,墨键与墨斗辊之间的开度范

围为 $0\sim0.6\text{ mm}$,油墨黏度一般为 $20\sim80\text{ Pa}\cdot\text{s}$,密
度为 1012.985 kg/m^3 。墨斗油墨流场仿真模拟边界
条件输入:油墨入口平面 $\overline{AB}$ 和油墨出口平面 $\overline{CD}$ 采用
软件默认设置的边界条件,墨斗辊旋转面 $\overline{AC}$ 为滑移壁
面边界条件,墨键表面 $\overline{BD}$ 采用壁面边界条件设置。
根据印刷过程墨量控制策略中的各控制量影响因素
大小,将墨键开度和油墨黏度各划分为 10 等份。结
合上述二维墨斗油墨流场模型的构造方法,建立各种
工况下的流场模型 100 个,并对这些模型分别进行网
格划分。将划分好的网格输入 FLUENT 软件中进行
仿真分析,输出各离散点处的速度,并生成 TXT 数据
文件。

4 实验数据处理与分析

4.1 数据处理

用 MATLAB 数据处理软件对上一步中输出的各
离散点处速度进行曲线拟合并对速度曲线积分,其
中,墨键宽度取为 0.03 m ,求得的输出即为该工况下
的油墨流量。利用同样的方法对构造的 100 个模型
分别进行仿真拟合计算,随机选取所得 10 种工况下
的油墨流量实验数据,见表 1。

在数据处理软件 Matlab 中,运用高斯-牛顿法的

表 1 油墨流量数据

Tab. 1 Ink flow data sheet

mm^3/s

黏度 $\eta/(\text{Pa}\cdot\text{s})$	开度/mm									
	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54	0.60
23	558.09	1265.20	2009.01	2738.50	3463.43	4213.13	4973.89	5751.40	6522.90	7280.45
29	557.50	1263.40	2005.97	2734.09	3457.66	4206.30	4964.88	5741.35	6511.39	7295.95
35	557.10	1261.29	2004.18	2731.39	3453.94	4201.67	4941.40	5734.96	6504.30	7287.45
41	556.80	1259.41	2002.92	2729.46	3451.69	4198.41	4956.13	5730.35	6499.11	7281.39
47	556.58	1258.86	2001.86	2728.06	3449.81	4196.18	4953.59	5727.14	6495.33	7277.10
53	554.89	1260.64	2001.09	2726.97	3448.33	4194.38	4951.38	5724.71	6492.36	7264.16
59	554.79	1260.28	2000.61	2726.11	3447.32	4193.08	4949.47	5722.74	6490.13	7271.54
65	554.69	1260.04	2000.06	2725.51	3444.84	4191.95	4948.13	5721.07	6488.13	7269.48
71	554.61	1259.81	1999.78	2724.90	3445.68	4190.90	4946.79	5719.73	6486.91	7267.84
77	554.54	1259.62	1999.44	2724.45	3445.02	4190.08	4945.99	5718.76	6485.62	7266.13

非线性最小二乘数据拟合^[8]对表 1 中的实验数据进
行拟合计算。将墨键开度、油墨黏度作为自变量,油
墨流量作为因变量输入,编写程序并完成数据拟合计
算。最终确定油墨黏度、墨键开度与油墨流量的函数
关系:

$$Q=12\ 837.96x_1^{1.08}x_2^{-0.004}\tag{4}$$

式中: Q 为油墨流量(mm^3/s); x_1 为墨键开度
(mm); x_2 为油墨黏度($\text{Pa}\cdot\text{s}$)。

通过拟合计算结果误差分析可知,拟合的函数关
系曲线与离散点的油墨流量数值最大误差为 0.0557

mm^3/s , 是墨键最小开度中油墨流量的万分之一, 可以保证拟合的精度和准确性。拟合后的油墨黏度、墨键开度与油墨流量关系曲线见图 5。图 5 中横坐标由

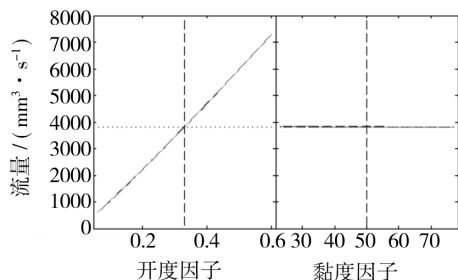


图 5 油墨黏度、墨键开度与油墨流量的关系

Fig. 5 Relation among ink's viscosity, key opening, and ink flows

两部分组成,前半部分表述的是墨键开度影响因子,后半部分表述的是油墨黏度影响因子,纵坐标表述的是油墨流量。

4.2 结果分析

由表 1 知,同一墨键开度下,随着油墨黏度的增加,油墨流量逐渐减小,这符合实际情况,因为随着黏度的增加,油墨流动变慢,速度下降引起油墨流量的变小。在同一油墨黏度下,随着墨键开口的增大,油墨流量逐渐增大。同一墨键开度下,不同油墨黏度的油墨流量的增减变化范围在 $4 \sim 37 \text{ mm}^3/\text{s}$ 之间,同一油墨黏度下,不同墨键开度的油墨流量增减变化较大。由式(4)可以看出, x_1 的影响因子较大, x_2 的影响因子较小。这与表 1 所映射的关系是相同的,说明该拟合的关系式能够正确表述油墨黏度、墨键开度与油墨流量的关系。

5 结论

结合流体力学基本理论,利用计算流体力学软件 FLUENT 的可视化图形仿真分析和 MATLAB 数值拟合分析对胶印机墨斗油墨流场进行的仿真模拟研究,对提高印刷品质量,减少资源浪费,节能增效提供了保证。与其他已建立的墨键开度与油墨流量的线性映射函数关系相比,建立的油墨黏度、墨键开度与油墨流量的非线性映射函数确定了墨量智能化控制中三者之间的具体量化关系,符合墨斗油墨流场的实际流动情况,提高了墨量微量调节的精确度。这不仅为墨量的智能化控制提供参考和依据,为墨量控制理论

的完善和墨斗结构的优化打下基础,也为其他领域中类似的有关开度与墨量关系的情形提供参考,开拓了此映射函数关系的应用范围。

参考文献:

- [1] 张伟,高军,李长涛. 基于 PC 分区控制调墨系统的研究[J]. 包装工程,2009,30(10):114-116.
ZHANG Wei, GAO Jun, LI Chang-tao. Study of Subdivision-controlled Ink Adjustment System Based on PC[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 114-116.
- [2] 范增华,高军,李长涛. 基于神经网络的墨量控制算法的研究[J]. 包装工程,2010,31(19):28-31.
FAN Zeng-hua, GAO Jun, LI Chang-tao. Study of Ink Control Algorithm Based on Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 28-31.
- [3] 叶威,张跃明,张乃龙,等. 墨键开度与油墨流量关系的分析[J]. 计算机仿真,2010,27(2):356-359.
YE Wei, ZHANG Yue-ming, ZHANG Nai-long, et al. Analysis on the Relation of Ink Key's Opening and Ink's Flux[J]. Computer Simulation, 2010, 27(2): 356-359.
- [4] LUO J, ZHANG Z. Automatic Color Printing Inspection by Image Processing[J]. Materials Technology, 2003, 139: 373-378.
- [5] 叶威. 胶印机遥控墨斗数字化设计与油墨流量分析[D]. 北京:北京工业大学,2009.
YE Wei. Digital Design of Ink Fountain and Ink Flow Analysis of Offset Printing Machine[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009.
- [6] 陈振欢. 胶印机输墨系统油墨流动的数值模拟分析[D]. 北京:北京工业大学,2011.
CHEN Zhen-huan. Numerical Simulation Analysis of Ink Flow for the Ink System of Offset Printing Press[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2011.
- [7] 白卫国,邱春丽. 国产印刷机墨控系统的应用现状与发展[J]. 今日印刷,2009(5):69-71.
BAI Wei-guo, QIU Chun-li. Application Situation and Development of Domestic Printing Ink Control System[J]. Print Today, 2009(5): 69-71.
- [8] MOSCINSKI J, OGONOWSKI Z. Advanced Control with MATLAB and SIMULINK[M]. London: Ellis Horwood, 1995.